



L'apport d'électricité d'origine renouvelable est géré au sein des agences de conduite régionales (ici celle de Mérignac). Le recours à l'intelligence artificielle permettra d'utiliser au mieux cette production par nature variable.

rester dans les nuages, mais finalement sans finesse. Surtout, lorsqu'il y a trop de productions d'ENR, nous ne savons plus trouver une tension de consigne applicable toute l'année. D'où l'idée de passer d'une tension de consigne fixe à une tension dynamique, qui s'adapterait plusieurs fois par jour à l'état réel de la consommation et de la production. » Enedis a donc entrepris des actions R&D afin de mettre au point un algorithme capable de réaliser une telle tâche. Pour cela, un élément clé consiste à disposer en temps réel d'une image de la tension sur le réseau.

« Nous sommes partis d'un algorithme bien connu, un estimateur d'état, explique Dominique Croteau. Il a fallu l'adapter, car il est utilisé sur le réseau transport, qui est en boucle, et comporte de nombreux capteurs de tension et de puissance. Du fait de ces boucles, il y a de nombreuses redondances qui permettent à l'estimateur d'être très précis. Davantage même que les capteurs, dont il corrige les erreurs de mesure. » Il faut en effet bien distinguer le réseau de transport, à très haute tension, qui part des centrales vers les postes sources

où se trouvent les transformateurs HT-HTA, et le réseau distribution qui part de ces postes et va jusqu'au client. Cette configuration est en antenne en quelque sorte, avec un émetteur, le poste source et les récepteurs: les clients. « Dans ce cas, il n'y a pas de boucles, et donc moins de redondances, reprend Dominique Croteau. L'estimateur d'état n'a pas grand-chose à se mettre sous la dent. Notre but était donc de trouver des indicateurs de tension sur le réseau, sans multiplier les capteurs, ce qui coûterait trop cher. »

OPTIMISATION DE LA DISTRIBUTION

La solution est venue des fameux postes « HTA-BT ». On en compte près de 800 000 sur tout le territoire. De parfaits « indices », pourvu que l'on sache s'en servir... « En modélisant la courbe de charge d'un poste HTA-BT tout au long de l'année, nous nous sommes rendu compte que nous obtenions une très bonne estimation de la tension à ce nœud du réseau, raconte Dominique Croteau. Chaque poste constitue donc un point de mesure supplémentaire

pour nourrir l'estimateur d'état. Nous avons également ajouté des capteurs, en nombres limités. Au final, nous avons un profil de tension en chaque nœud du réseau à 1 % près de la réalité, remis à jour toutes les 10 minutes! »

Cette image est la clé d'une gestion dynamique du réseau. Sitôt qu'une anomalie en tension est détectée quelque part, par exemple un apport d'énergie dû à des panneaux photovoltaïques, un second algorithme se met en route pour recalculer instantanément la nouvelle tension de consigne à appliquer au poste source. « Grâce à cette optimisation de la distribution, reprend Benoît Bouzigon, nous gérons l'arrivée de nouveaux producteurs d'ENR en limitant le développement du réseau physique. Auparavant, nous pouvions être amenés à créer un départ depuis le poste source vers ce nouveau producteur, de façon à l'isoler du reste du réseau. Ce ne sera plus nécessairement le cas avec cette gestion dynamique ; l'intérêt économique est évident. »

Deux brevets ont déjà été déposés. La phase de test a commencé, dans deux postes sources situés dans les Pays de la Loire, un autre en Côte d'Azur et un quatrième en cours d'installation en région Bretagne. « Nous attendons le retour d'expérience de ces quatre postes avant de décider un déploiement plus large, conclut Benoît Bouzigon. Par ailleurs, cette gestion dynamique n'a vocation à être utilisée que sur 10 à 30 % du territoire, là où les ENR sont très présentes. » Les leçons de ces expérimentations devraient être tirées à la fin de 2021. ●

La gestion dynamique du réseau permet de gérer l'arrivée des producteurs d'ENR en limitant le besoin d'infrastructures physiques

L'ESSENTIEL

> Les caldeiras sont de grandes dépressions qui se forment après l'effondrement du toit d'une grande chambre magmatique d'échelle kilométrique.

> Cet effondrement est contrôlé par la vidange de la chambre magmatique lors d'une grande éruption.

> Les effondrements de caldeira se produisent en plusieurs étapes.

> Ces étapes s'accompagnent de l'émission de trains d'ondes sismiques de très basses fréquences. Cela permet de prédire un effondrement avec plusieurs heures d'avance.

L'AUTEUR

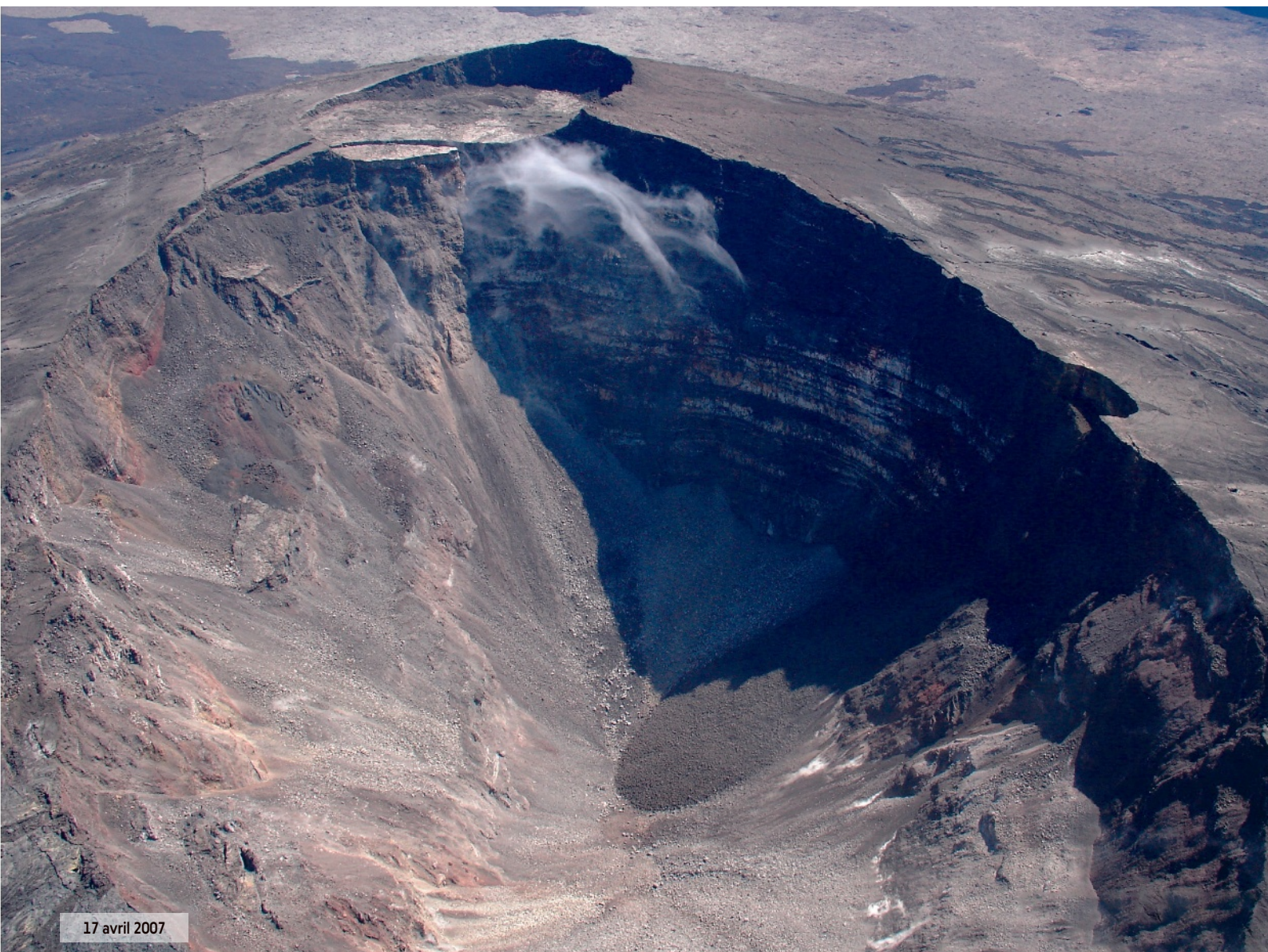


FABRICE R. FONTAINE
volcanologue à l'observatoire
volcanologique et sismologique
de la Martinique, de l'IPGP,
à Saint-Pierre (auparavant en
poste au laboratoire GéoSciences
de l'université de La Réunion)

31 octobre 2006

Prédire l'effondrement des cratères volcaniques

Au cours des grandes éruptions, celles qui émettent des kilomètres cubes de matériaux, des ondes de très basses fréquences indiquent l'imminence de la formation d'une grande dépression – une caldeira – assez tôt pour prévenir les populations.



17 avril 2007

En ce 6 avril 2007, des passionnés observent l'éruption en cours au piton de la Fournaise, prudemment postés à quelque 7 kilomètres du sommet du volcan. Soudain, à 0 heure 48, le cratère Dolomieu, le plus grand cratère du grand volcan actif de La Réunion, s'effondre en produisant un séisme de magnitude 5. Lorsque le 1^{er} mai, l'éruption terminée, on pourra à nouveau observer la surface du cratère, les Réunionnais apprendront qu'elle est descendue de quelque... 340 mètres !

Les volcanologues utilisent le terme de « caldeiras », issu du portugais *caldeirão*, signifiant « chaudron », pour désigner les grandes dépressions qui se forment lors de ce genre d'effondrements au sein d'un édifice volcanique. Les caldeiras résultent de la vidange d'un vaste réservoir de magma sous-jacent. Or les formations de caldeiras sont parmi les

événements les plus menaçants du volcanisme. Ainsi, lorsqu'il y a 640 000 ans l'immense chambre magmatique sous-jacente à ce qui deviendrait le parc américain du Yellowstone, dans le Wyoming, s'est vidangée, elle a émis 1 000 kilomètres cubes de lave et couvert la moitié de l'Amérique du Nord de cendres ! La dépression créée par son effondrement mesurait 45 kilomètres de large pour 85 kilomètres de long...

Plus près de nous, en 79 de notre ère, l'éruption du Vésuve qui a précédé l'effondrement du cratère a fait disparaître les villes de Pompéi, d'Herculanum et de Stabies... et formé, à seulement 10 kilomètres au sud-est de Naples, une caldeira de 2,3 kilomètres de diamètre... Et à une dizaine de kilomètres au nord-ouest de Naples, se trouve un autre immense volcan situé autour et sous le golfe de Pouzzoles : les champs Phlégréens. Lorsqu'il y a 39 000 ans sa chambre magmatique s'est >

Le cratère du piton de la Fournaise, à La Réunion, le 31 octobre 2006 (à gauche) et le 17 avril 2007 (ci-dessus) après son premier effondrement. D'autres ont suivi mais n'ont pas beaucoup modifié la structure du cratère.

La partie la plus profonde du cratère se trouve à quelque 340 mètres sous ses bords, soit une profondeur supérieure à la hauteur de la tour Eiffel. Un cratère ou, plus généralement, un édifice volcanique effondrés résultent de l'effondrement d'une chambre magmatique sous-jacente.

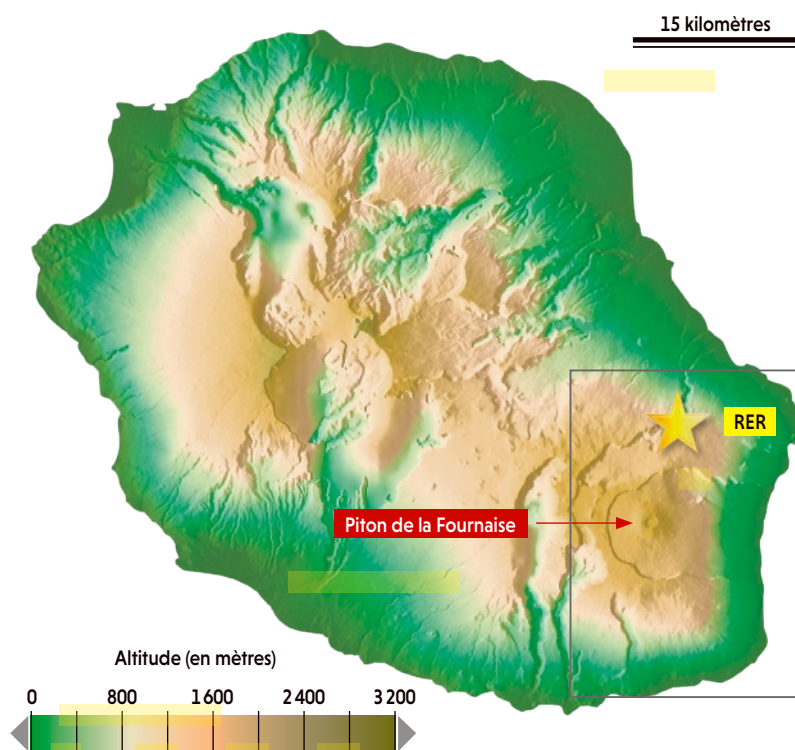
> vidée, elle a émis 150 kilomètres cubes de lave et formé une caldeira de 12,5 kilomètres de diamètre. Qu'arriverait-il à Naples si un tel phénomène se reproduisait à l'avenir, même avec une ampleur moindre ?

Si elle est potentiellement très dangereuse, la formation d'une caldeira est heureusement un événement relativement rare à l'échelle de nos vies : en un siècle, seulement sept se sont produits à travers le monde (voir l'encadré page 58). C'est pourquoi l'enregistrement seconde par seconde des phases éruptives qui ont précédé et accompagné la formation d'une caldeira au piton de la Fournaise en 2007 est précieux : il nous a révélé le moyen de prédire avec quelques heures d'avance la formation d'une caldeira.

Comment ? Grâce aux mesures réalisées à l'observatoire installé à son piémont par l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP), qui fait de ce volcan du sud-est de l'île de La Réunion l'un des mieux étudiés du monde (voir les cartes ci-contre). Apparu il y a environ 530 000 ans, le piton de la Fournaise est dû à l'existence dans la région, depuis 65 millions d'années, d'un panache mantellique, c'est-à-dire d'une vaste remontée de matière chaude à travers le manteau terrestre (les 2885 kilomètres sous-jacents à la croûte terrestre). Avant 2007, les deux cratères de ce volcan formaient deux dépressions sommitales peu profondes : à l'ouest le cratère Bory, qui date de la première moitié du XVIII^e siècle, et à l'est le cratère du Dolomieu, formé en 1791. La nouvelle caldeira a beau être modeste, elle n'en est pas moins exceptionnelle, car sa formation a pu être suivie de minute en minute.

Tout a commencé en 2006, quand, après une activité intense, une éruption a, entre le 30 août et le 31 décembre, tellement rempli le cratère du Dolomieu que celui-ci a débordé par sa bordure inférieure. Cet épisode n'était qu'annonciateur : l'année suivante, des fissures se sont ouvertes, d'abord au sommet, puis sur le flanc sud-est et, enfin, à 7 kilomètres du sommet, à 590 mètres d'altitude au sud-est.

L'une des plus grandes éruptions connues du volcan a alors commencé : elle s'est déroulée en plusieurs épisodes du 18 au 19 février, du 30 au 31 mars et du 2 avril au 1^{er} mai. L'éruption d'avril a produit un volume de laves et d'intrusions – c'est-à-dire d'ouvertures de la roche du volcan par des filons de lave – que l'on estime à 0,24 kilomètre cube. Ce volume apparaît faible si on le compare aux volumes expulsés par d'autres volcans lors de la formation d'autres caldeiras (voir l'encadré page 58). Toutefois, la dépression du Dolomieu est assez importante pour que la séquence qui s'est déroulée lors de sa formation puisse être caractéristique de la formation d'une caldeira.



Le piton de la Fournaise se trouve à La Réunion, île française située à quelque 700 kilomètres à l'est de Madagascar. Plusieurs formations de caldeira ont structuré au cours du temps ce grand volcan bouclier culminant à 2632 mètres d'altitude. Ainsi, la caldeira du Dolomieu, qui s'est formée en 2007, se trouve au sein de l'enclos Fouqué, une caldeira de 9 kilomètres de large et de 13 kilomètres de long, bordée de falaises de 100 à 400 mètres de haut. Le piton de la Fournaise est l'un des volcans les mieux surveillés du monde, un observatoire volcanologique étant installé sur l'un de ses flancs.

La vidange de la chambre magmatique entraîne l'affaissement de la colonne de roches de la cheminée du volcan